



Innovation
and
Technology
for Development
Centre



CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Estimación del riesgo sísmico en Puerto Príncipe (Haití) como base para la elaboración de planes de emergencia

Yolanda Torres
Sergio Molina
Manuel Navarro
Belén Benito
Dwinel Belizaire



Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica



7ª Asamblea Hispano-Portuguesa
de Geodesia y Geofísica.
San Sebastián, junio 2012



1. Introducción: marco de actuación
2. Objetivos: general y específicos
 1. Propuesta de un modelo de cálculo del riesgo sísmico en términos de daño físico para Puerto Príncipe
 2. Calibración del modelo propuesto con datos del sismo de enero de 2010
 3. Aplicación: cálculo de un escenario probable de daño físico en Puerto Príncipe
3. Conclusiones y líneas futuras

1. Marco de Actuación

SISMO-HAITI: proyecto de cooperación en respuesta a la petición de ayuda emitida por el Ministerio de Medioambiente de Haití tras el sismo de enero de 2010. Financiado por la Universidad Politécnica de Madrid –UPM.

Coordinación: España, GIIS-UPM



Contraparte: Haití, ONEV-MdM



Participantes:

Universidad de Alicante



Universidad de Almería



Universidad Complutense de Madrid



Consejo Superior de Investigaciones Científicas



Servicio Sismológico de República Dominicana

Servicio Sismológico de Puerto Rico



CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



2. Objetivos

SISMO-HAITI

Escala Regional



Cálculo de la peligrosidad sísmica en la Isla de la Española como base para la primera norma sismorresistente

Escala Local



Estudio de Riesgo Sísmico en Puerto Príncipe como base para la definición de planes de emergencia

Objetivos específicos

1. **Propuesta de un modelo de cálculo del riesgo sísmico** en términos de daño físico para Puerto Príncipe
 1. Tipologías constructivas representativas del parque inmobiliario de la ciudad
 - Estudio del daño causado por el sismo de enero de 2010
 2. Asignación de curvas de capacidad y fragilidad
 3. Propuesta de modelos de predicción del movimiento fuerte del suelo (GMPE)
2. **Calibración del modelo propuesto** con datos del sismo de enero de 2010
 1. Fase 1: elección del GMPE
 2. Fase 2: refinamiento de las curvas de capacidad
3. Aplicación: **cálculo de un escenario probable** de daño físico en Puerto Príncipe

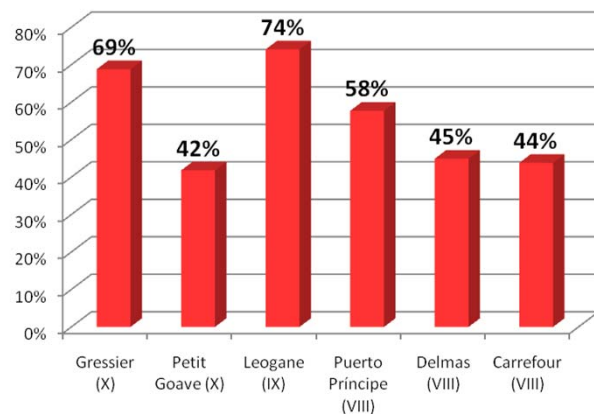
2.1. Modelo Propuesto

1. Daño causado por el sismo de enero de 2010 (Eberhard, 2010; EERI, 2010)

1. Explicar las causas de los graves daños (especialmente los colapsos)
2. Conocer las técnicas de construcción local



% Daño severo



2.1. Modelo Propuesto

2. Tipologías propuestas

MBT	Materiales		Nº Edificios	% Daño completo
	Estructura	Muros		
RC-SW	Hormigón armado	Hormigón armado	1257	16%
RC-CB	Hormigón armado	Bloques de hormigón	63100	18%
RC-UM	Hormigón armado	Mampostería sin reforzar	3273	21%
RL-BM	Mampostería reforzada	Bloques de hormigón	11998	23%
URM1	Mampostería confinada	Mampostería sin reforzar	2766	22%
URM2	Marco de madera	Mampostería sin reforzar	2514	26%

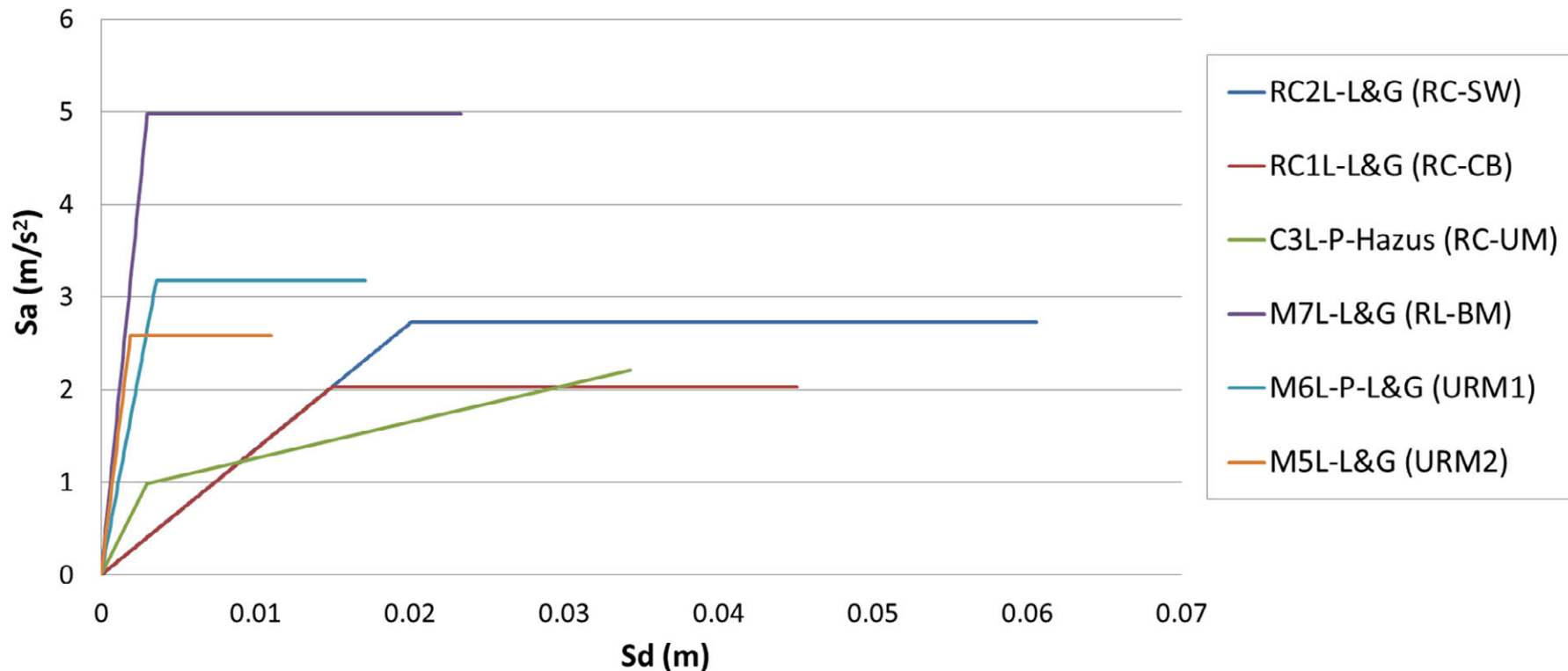
NOTA: Menor proporción de edificios de madera y otros con estructura de acero

Uso de la BD del Ministerio de Obras Públicas de Haití (MOP)
Teniendo en cuenta su comportamiento en el sismo de enero de 2010

2.1. Modelo Propuesto

2. Curvas de capacidad → Método Capacidad-Demanda (MARDS)

Curvas de Capacidad



- Sus correspondientes curvas de fragilidad
- De Hazus (FEMA 2003) y Lagomarsino y Giovinazzi (2006).

2.1. Modelo Propuesto

2. Modelos de movimiento fuerte del suelo (GMPE):

NGA

* Boore y Atkinson (2008-2011)

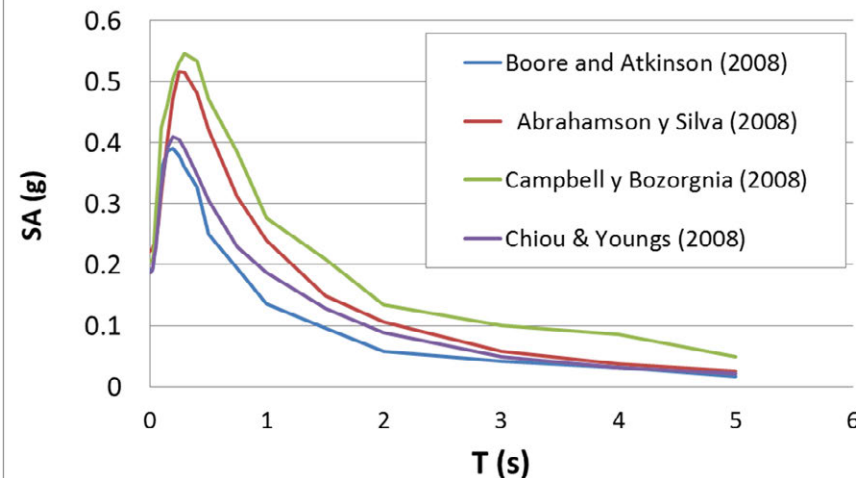
Abrahamson y Silva (2008)

* Campbell y Bozorgnia (2008)

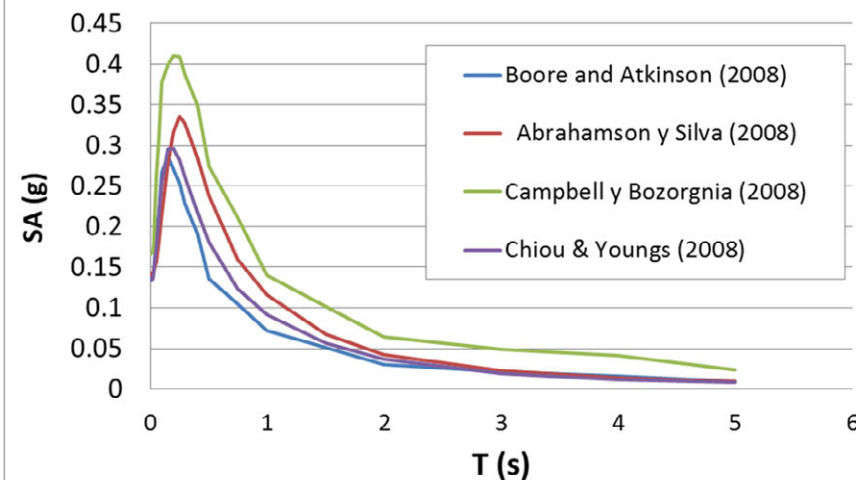
* Chiou y Youngs (2008)

* Usados por Frankel, 2010

Mayores Espectros Específicos

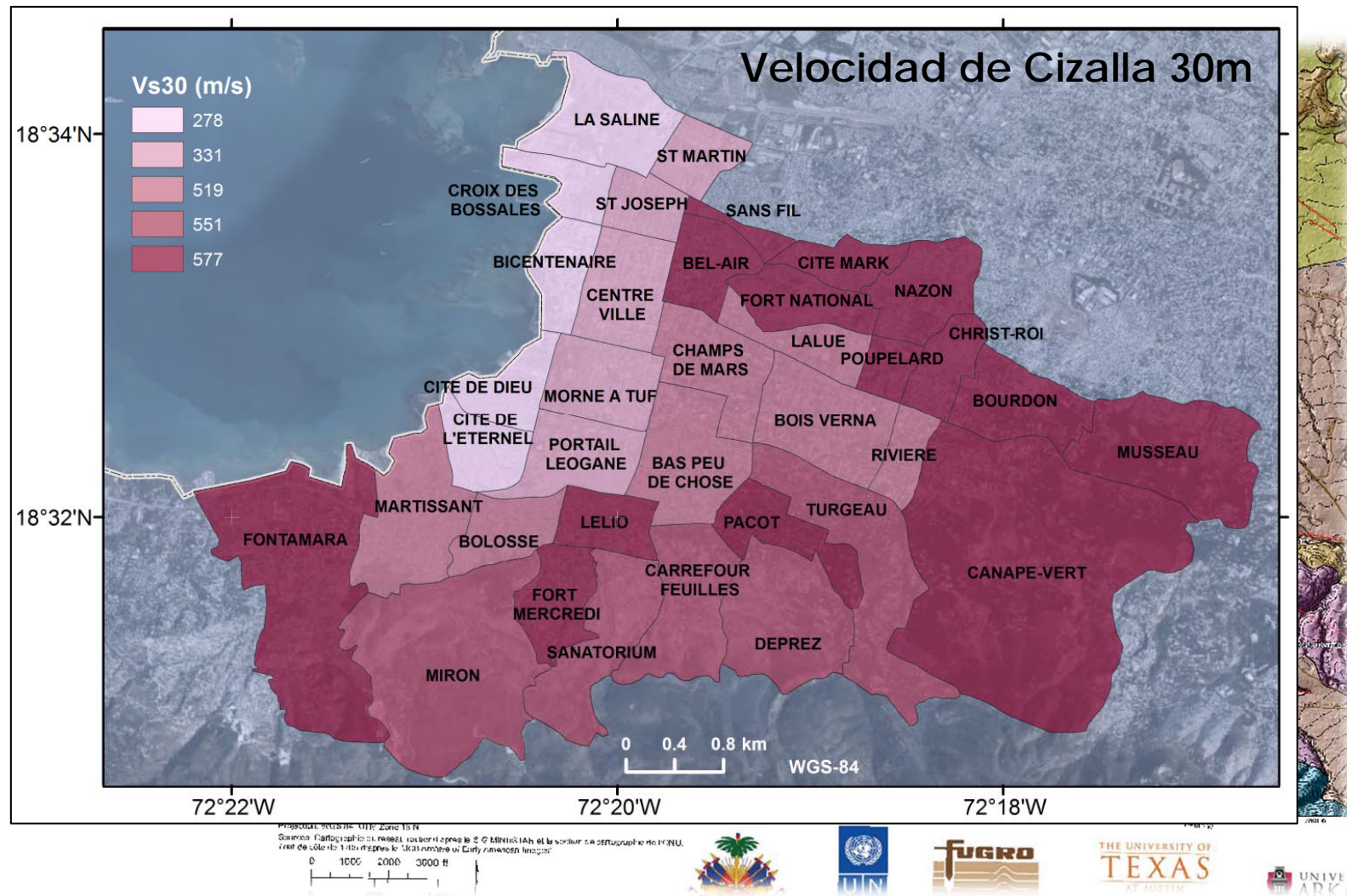


Menores Espectros Específicos



2.1. Modelo Propuesto

2. Modelos de movimiento fuerte del suelo (GMPE): parámetro Vs30

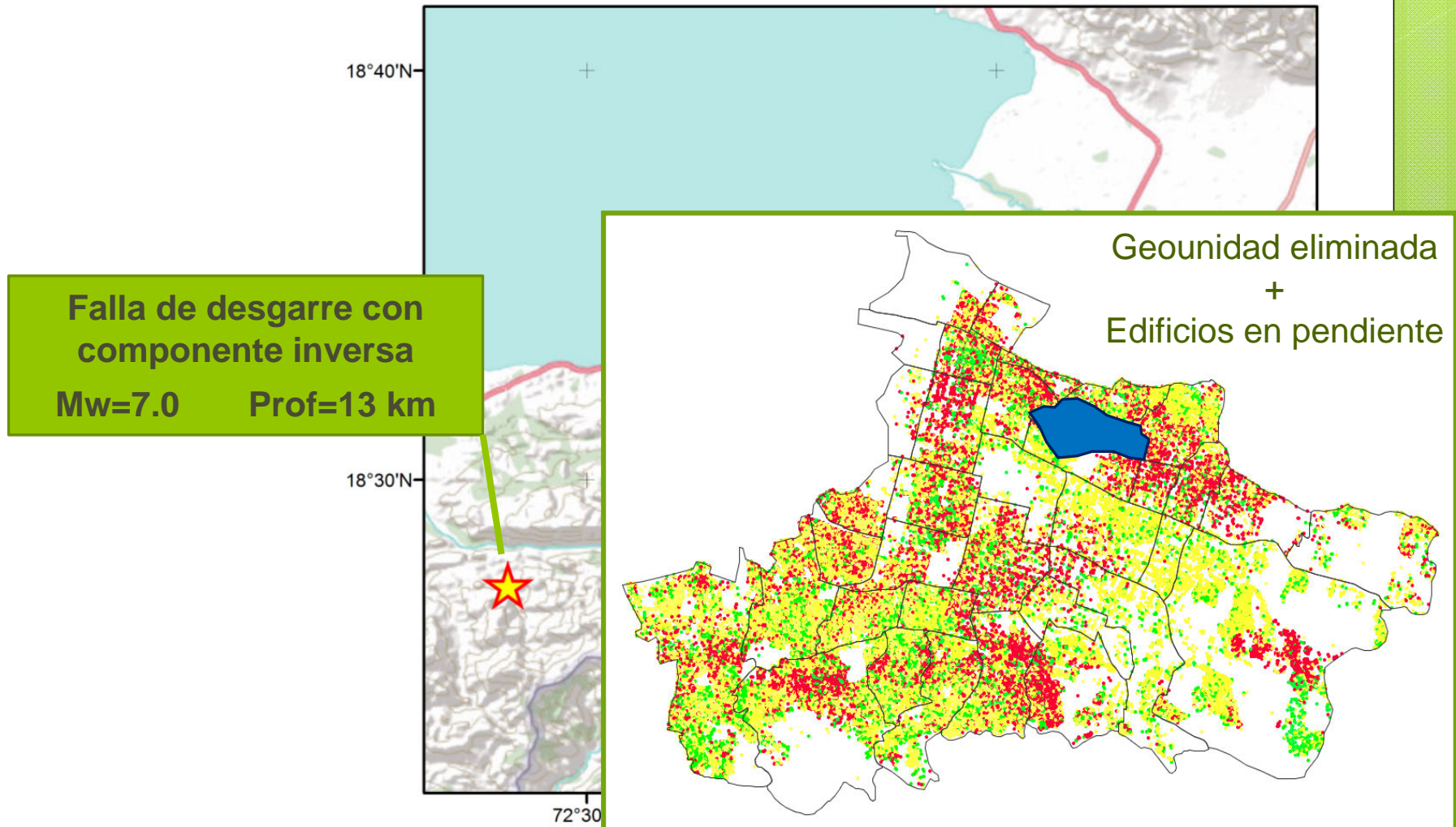


Cox et al. (2011) + Medida de un SPAC

2.2. Calibración

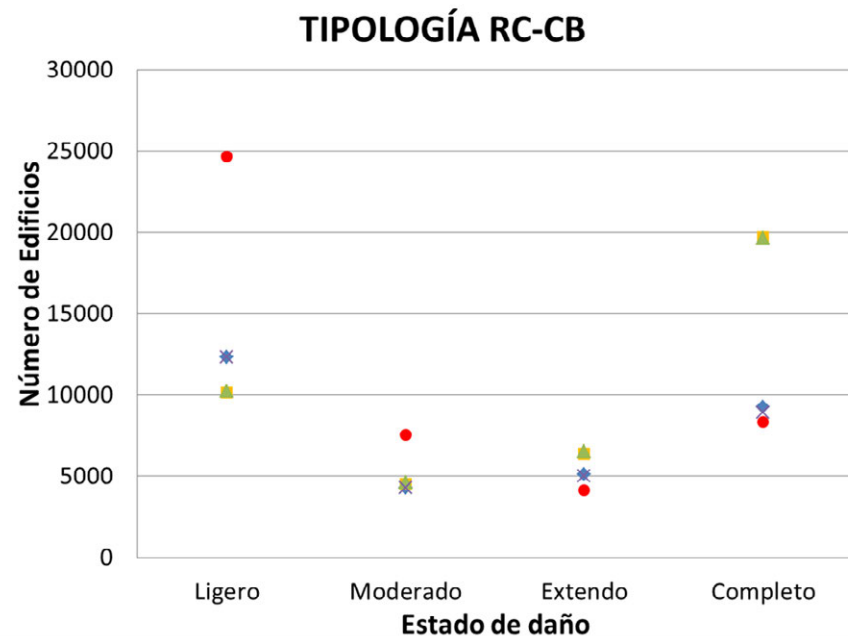
Simulación del sismo de enero de 2010

SELENA V5.0
(Molina et al. 2010)



2.2. Calibración

Fase 1. Elección del GMPE:



◆ Boore and Atkinson (2008)

■ Abrahamson & Silva (2008)

▲ Campbel & Borzorgnia (2008)

× Chiou & Young (2008)

● Observado

suelo 1 → Vs30
suelo 2 → Vs30 - σ
suelo 3 → Vs30 + σ

Residuo porcentual respecto al Nobs: $(N_{calc} - N_{obs}) / N_{obs}$

Suelo	GMPE	Grado de daño			
		Ligero	Moderado	Extenso	Completo
1	B&A	-49.98	-43.11	23.26	11.14
1	C&Y	-49.92	-43.66	21.02	6.75
2	B&A	-50.31	-39.51	36.79	37.44
2	C&Y	-50.49	-40.21	34.74	35.27
3	B&A	-50.48	-46.21	13.24	-4.67
3	C&Y	-50.77	-47.37	9.69	-9.91

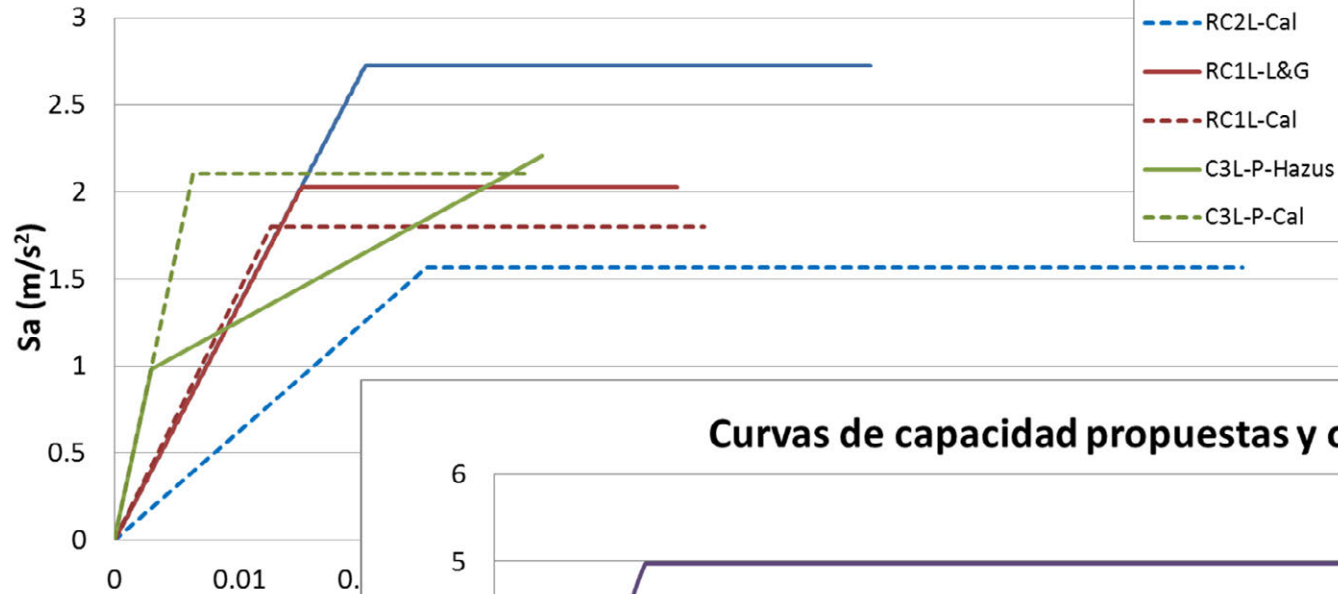
Residuo porcentual respecto al Ntotal: $(N_{calc} - N_{obs}) / N_{tot}$

Suelo	GMPE	Grado de daño			
		Ligero	Moderado	Extenso	Completo
1	B&A	-24.60	-6.52	1.93	1.86
1	C&Y	-24.57	-6.60	1.74	1.13
2	B&A	-24.76	-5.98	3.05	6.24
2	C&Y	-24.85	-6.08	2.88	5.88
3	B&A	-24.84	-6.99	1.10	-0.78
3	C&Y	-24.99	-7.16	0.80	-1.65

2.2. Calibración

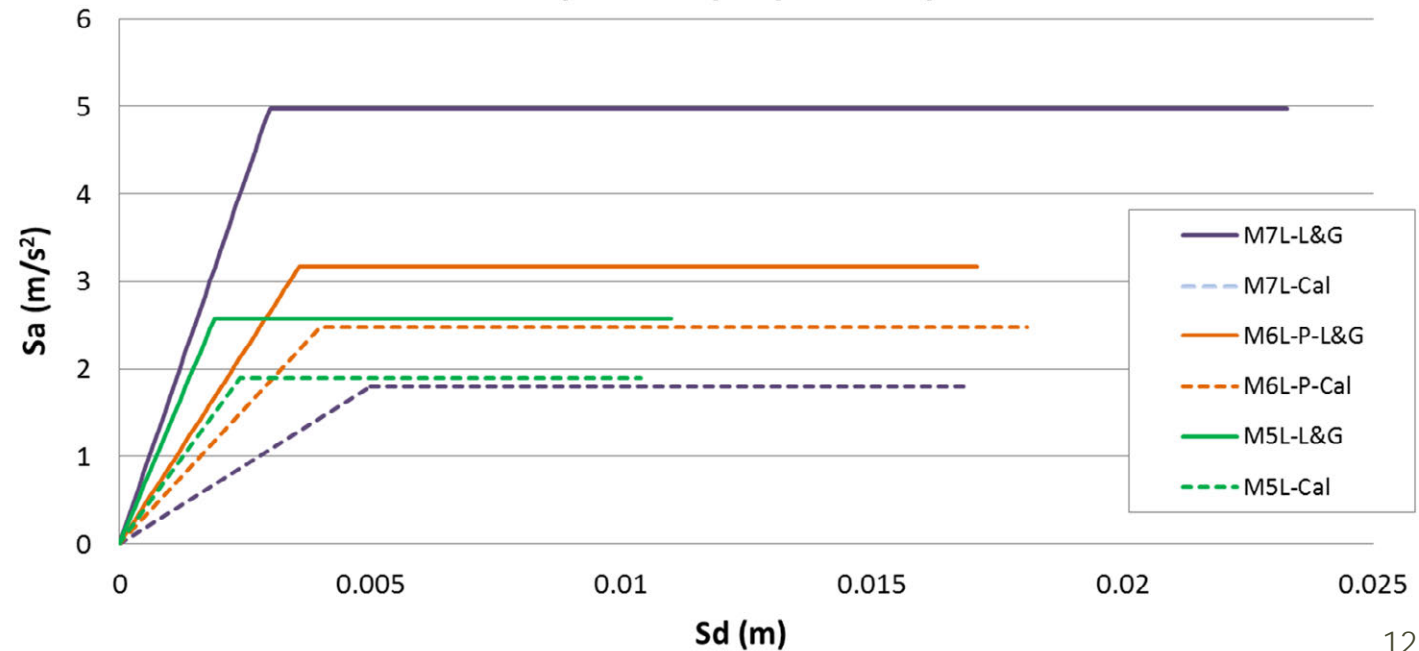
Fase 2. Refinamiento de las funciones de daño:

Curvas de capacidad propuestas y calibradas



Con los
GMPE
elegidos
y suelo 1

Curvas de capacidad propuestas y calibradas



2. Refinamiento de las funciones de daño:

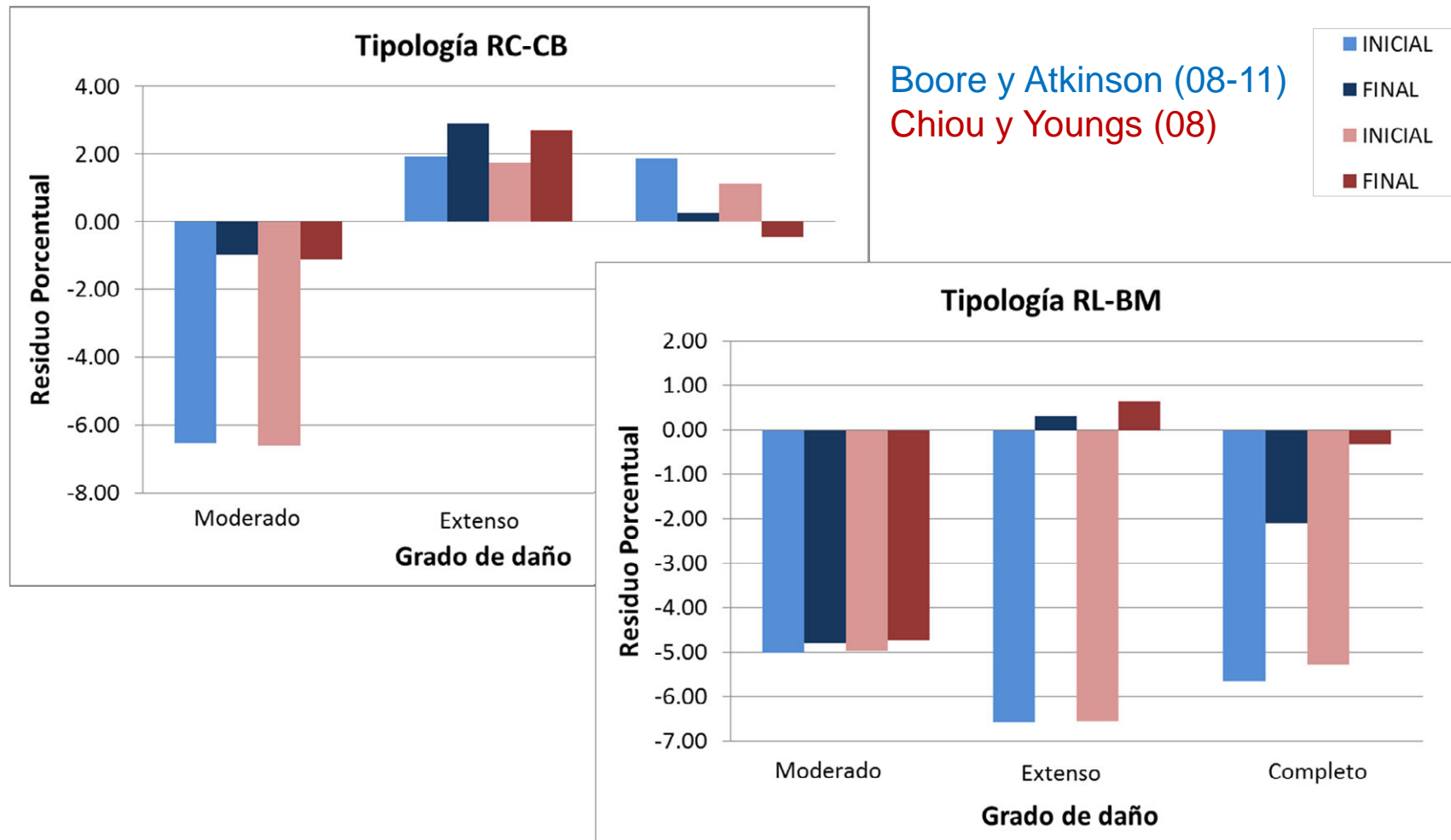
Residuos porcentuales respecto de N_{total}

MBT	GMPE	Grado de daño			
		Ligero	Moderado	Extenso	Completo
RC-SW	B&A	-25.05	0.42	0.85	-0.74
	C&Y	-25.27	-0.11	0.42	-1.91
RC-CB	B&A	-24.77	-0.98	2.89	0.24
	C&Y	-24.67	-1.11	2.68	-0.45
RC-UM	B&A	-32.27	0.41	-2.52	0.99
	C&Y	-32.27	0.45	-2.30	1.89
RL-BM	B&A	-16.84	-4.78	0.30	-2.11
	C&Y	-17.22	-4.72	0.65	-0.33
URM1	B&A	-35.36	2.74	-0.67	-1.28
	C&Y	-35.48	3.16	-0.24	0.12
URM2	B&A	-27.34	-2.62	-0.54	-1.04
	C&Y	-27.53	-2.42	0.05	1.09

2.2. Calibración

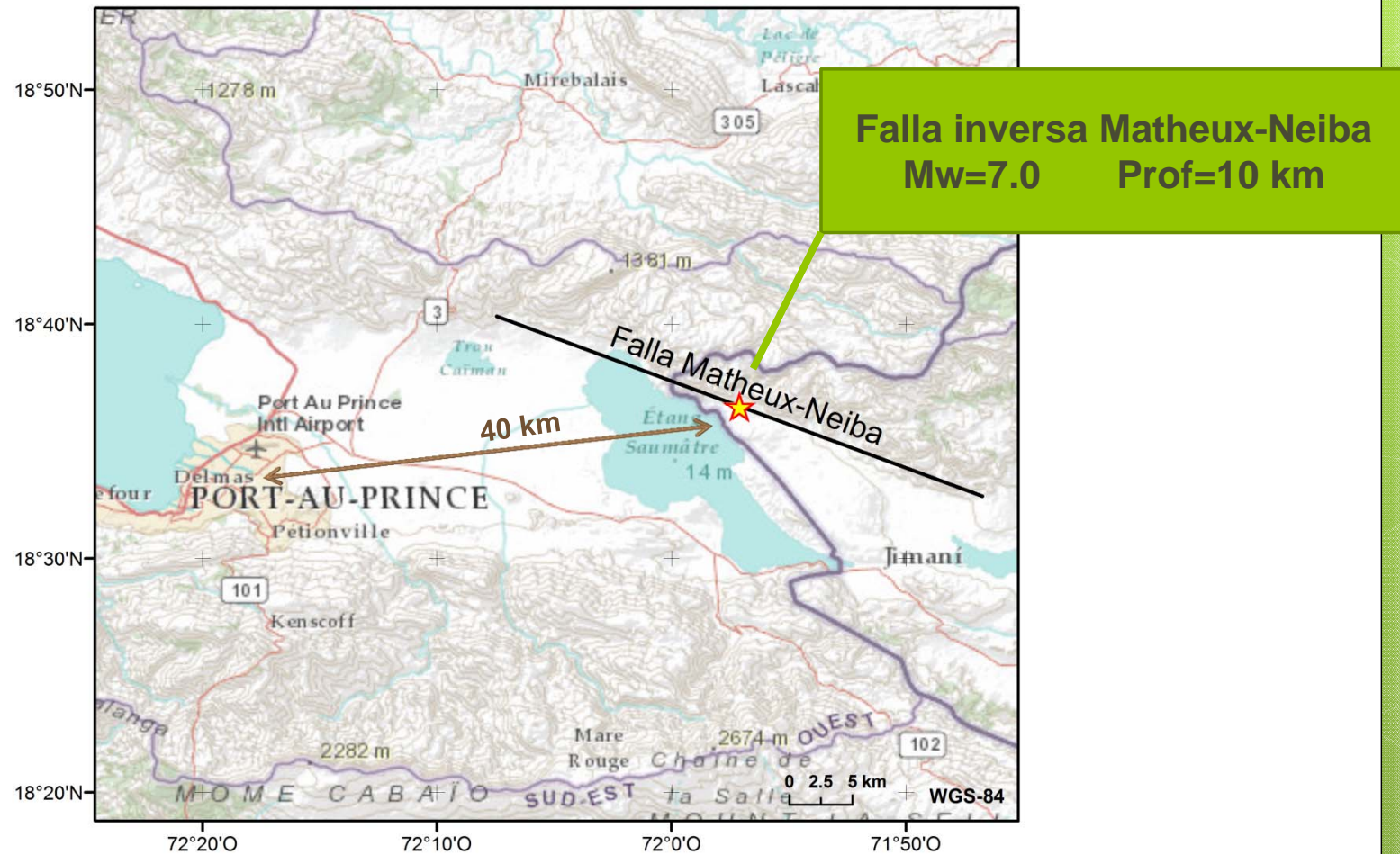
2. Refinamiento de las funciones de daño:

Residuos porcentuales respecto de N_{total}

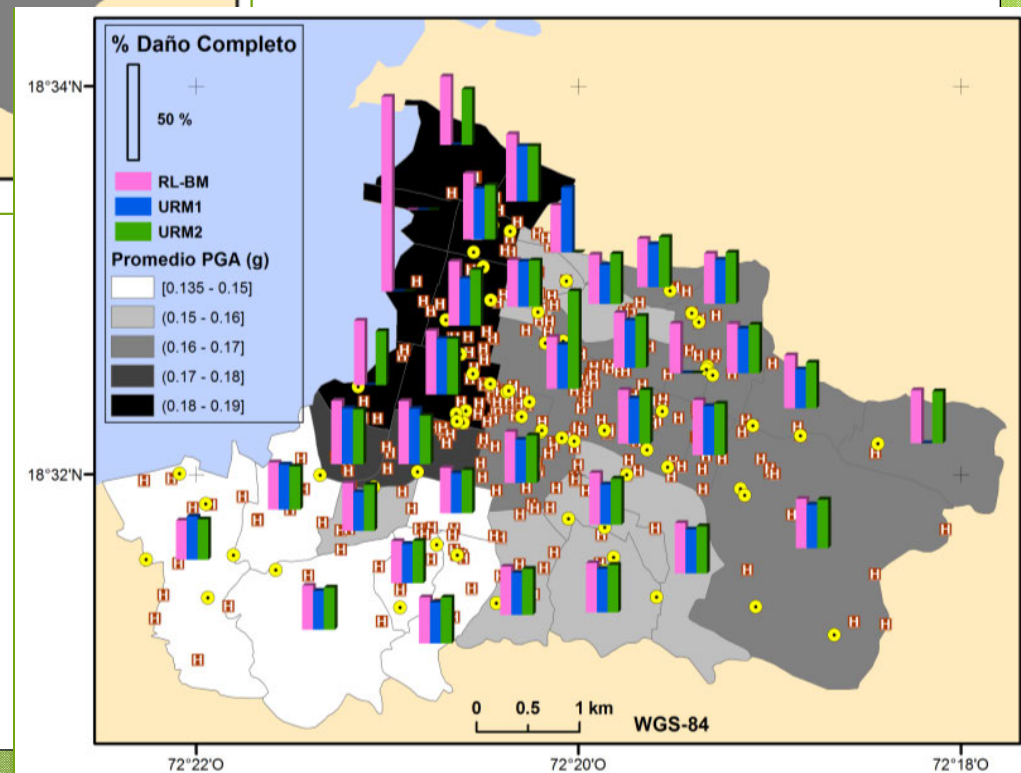
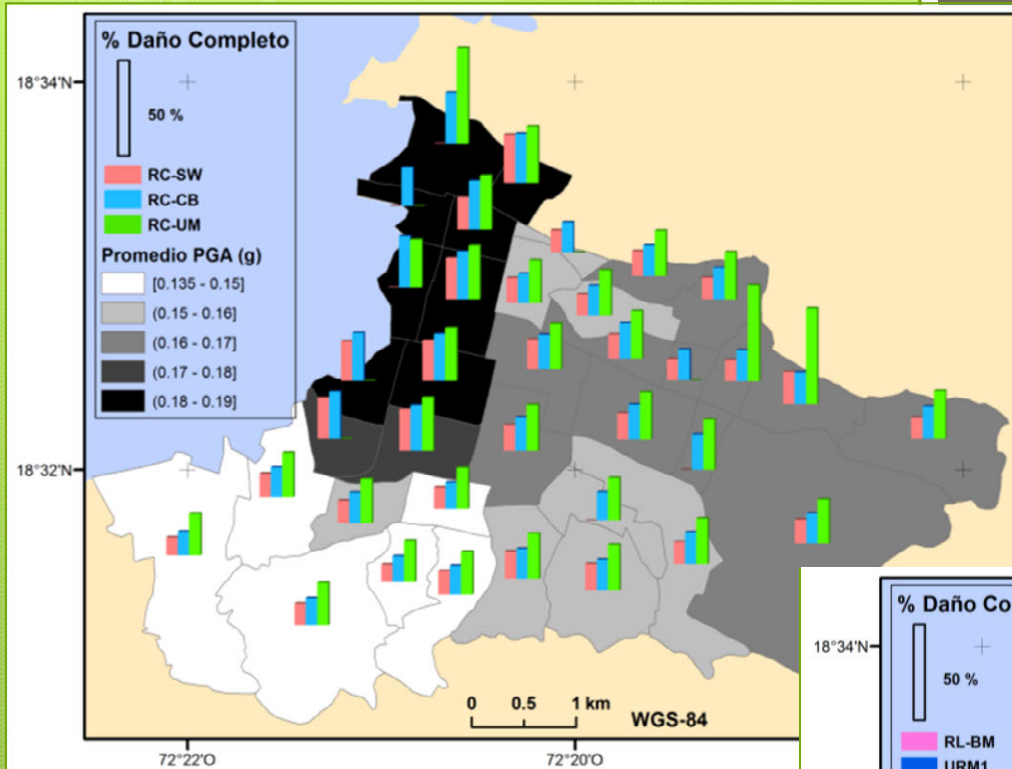


2.3. Aplicación

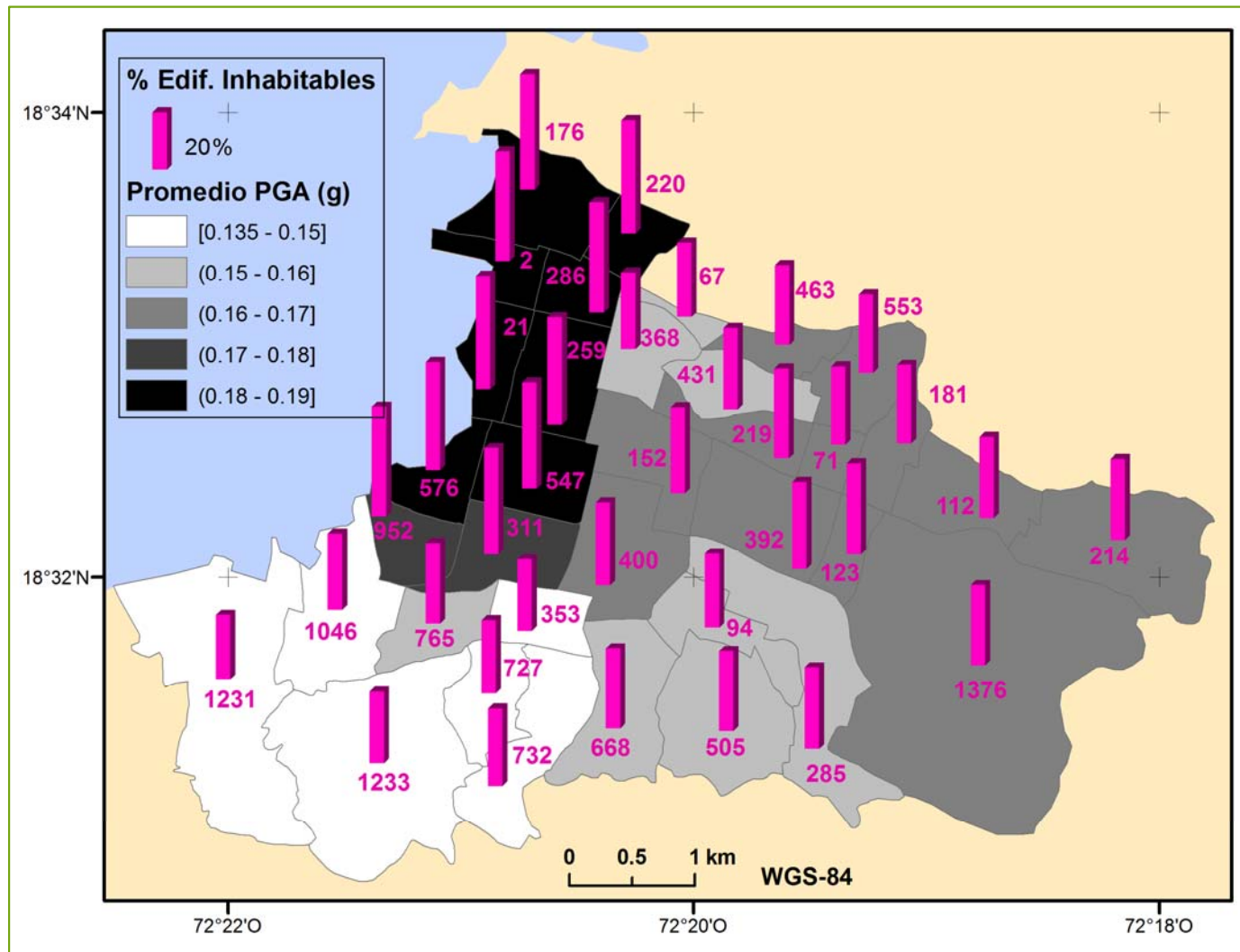
Cálculo de un escenario de daños futuro: simulación de un sismo probable



2.3. Aplicación



2.3. Aplicación



3. Conclusiones

1. La base de datos de edificios (BDE) del MOP nos ha permitido **calibrar un modelo de cálculo de riesgo sísmico** para Puerto Príncipe, que podría extrapolarse al resto del país.
 1. 6 tipologías constructivas con sus funciones de daño calibradas
 2. GMPE: Chiou y Youngs (2008) y Boore y Atkinson (2008-2011) con V_{s30} media y $V_{s30} + \sigma$.
2. Estamos desarrollando estudios de **correlación entre el daño y variables** como la altitud, la pendiente y el tipo de suelo.
3. No se han tratado las tipologías de madera y estructuras de acero, dada la reducida muestra que presenta la BD de edificios en Puerto Príncipe.
4. Se ha obtenido que, para un escenario sísmico probable, alrededor de un **40 % de los edificios de Puerto Príncipe quedarían inhabitables**.
5. Si no comienza la **reconstrucción ordenada y el refuerzo de estructuras**, la catástrofe se repetirá en el futuro.
6. Especial atención a **laderas de montañas**
7. La distribución de daños obtenida permite realizar estudios de **optimización del desarrollo urbanístico** y podrían ser la base de los **planes de emergencia**.

Referencias

- Boore**, D. and G. Atkinson (2008). Boore-Atkinson NGA Ground motion relation for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters. PEER 2007/01 Report, 242 pp.
- Bozzoni**, F., M. Corigliano, G. Lai, W Salazar, L. Scandella, E. Zuccolo, J. LATCHMAN, L. Lynch AND R. Robertson (2011): Probabilistic Seismic Hazard Assessment al the Eastern Caribbean Islands. Bolletin of the Seismological Society of America, Vol 101, No. 5, pp 2499-2521, October 2011.
- Calais**, E., A.Freed, G. Mattioli, F. Amelung, S. Jónsson, P. Jansma, S. Hong, T. Dixon, C. Prépetit and R. Momplaisir, (2010). Transpressional rupture of an unmapped fault during the 2010 Haiti earthquake, Nature Geosciences, 3, 794-799.
- Cox**, B., J. Bachhuber, E. Rathje, C. Wood, R. Dulberg, A. Kottke, R. Green y S. Olson (2011). Shear Wave Velocity- and Geology-Based Seismic Microzonation of Port-au-Prince, Haiti. Earthquake Spectra, Vol. 27, No. S1, pag. S67–S92
- Eberhard**, M.O., S. Balbridge, J. Marshall. W. Mooney y J.R.Glenn (2010). “The Mw 7.0 Haiti Earthquake of January 12, 2010: USGS/EERI Advanced Reconnaissance Team Report”. USGS Internal Report.
- EERI** (2010). “Learning from Earthquakes: The Mw 7.0 Haiti Earthquake of January 12, 2010”. Special Earthquake Report.
- FEMA** (2003) HAZUS-MH: Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Federal EmergencyManagement Agency, Washington, D.C., United States.Federal Emergency Management Agency
- Frankel**, A., S. Harmsen, C. Mueller, E. Calais and J. Haase (2011): Seismic Hazard Maps for Haiti. Earthquake Spectra, vol 27, S23-S24 pp.
- Lagomarsino**, S. and S. Giovinazzi (2006). Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. Bull. Earthq. Eng., 4,4, 415-443.
- Molina**, S., Lang, D.H., y Lindholm, C.D. (2010). SELENA: An open-source tool for seismic risk and loss assessment using a logic tree computation procedure. Computers & Geosciences 36, pp. 257–269



Grupo de Investigación en
Ingeniería Sísmica (UPM)
y.torres@upm.es

Gracias !